昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，February 2003，46（1）：126－130　　ISSN 0454-6296

斜纹夜蛾在风洞中对性信息素的行为反应及田间诱捕试验

孙　凡[1]，杜家纬[2]，陈庭华[3]

（1. 东北林业大学森林资源与环境学院，哈尔滨　150040；2. 中国科学院上海昆虫研究所，上海　200025；3. 浙江省慈溪市植保站，浙江慈溪　310000）

摘要：雌蛾腺体内含量最高的组份 Z9，E11-14：Ac（A）在风洞中能引起雄蛾从搜索气迹、定向飞行到撒开味刷企图交尾连续的行为反应，而雌蛾腺体内其它组份单独使用时均不能引起雄蛾上述行为反应。一定量的 Z9，E12-14：Ac（B）对 A 的活性有增效作用，诱芯中 B 数量过多，不但失去对 A 的活性增效作用，还对雄蛾接近诱芯和企图交尾有强烈的抑制作用。Z9-14：Ac（C）与 E11-14：Ac（D）对雄蛾的定向行为无影响，诱芯中含有 50% 的 C 时，反而对雄蛾接近诱芯和企图交尾有抑制作用。A 与 B 在滤纸诱芯中的含量比例与诱芯释放的挥发物比例明显不同，从 9∶1（A∶B）诱芯释放的挥发物比例更接近于雌蛾腺体内的天然比例。田间诱捕试验中两组份诱芯的诱捕量随两组份比例不同而变化，9∶1（A∶B）诱芯的诱捕量最大，1∶1（A∶B）诱芯的诱捕量低于单一的 A 组份诱芯。

关键词：斜纹夜蛾；性信息素；风洞；田间诱捕

中图分类号：Q965　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296（2003）01-0126-05

The behavioral responses of *Spodoptera litura*（F.）males to the female sex pheromone in wind tunnel and field trapping tests

SUN Fan[1]，DU Jia-Wei[2]，CHEN Ting-Hua[3]（1. College of Forest Resources and Environment，Northeast Forestry University，Harbin　150040，China；2. Shanghai Institute of Entomology，Chinese Academy of Sciences，Shanghai　200025，China；3. Plant Protection Station of Cixi City，Cixi，Zhejiang　310000，China）

Abstract: The major component of the sex pheromone of *S. litura*（F.）female，Z9，E11-14：Ac（A），elicited all steps of the male behavioral sequence，i. e.，searching for the odor，oriented upwind flight，approaching the source and displaying hairpencils. No males showed oriented flight when Z9，E12-14：Ac（B），Z9-14：Ac（C），E11-14：Ac（D）were assayed individually. Component B was able to enhance the activity of A，but larger amount of B in mixture strongly inhibited males from approaching the source and displaying hairpencils. The components of C and D had no effect on male behavior，but larger amount of C in a mixture of A and B inhibited males approaching the source and displaying hairpencils. There was a significant difference between the ratio of A to B in the filter paper lure and that in volatile from the filter paper lure. The ratio of A to B in volatile from the most effective lure in the wind tunnel was approximate to the natural ratio of A to B in the sex pheromone gland. In the field，the attractiveness of trap for male moths changed with the ratio of the components with most males being caught in traps baited with a ratio of 9∶1（A∶B）. The attractiveness of traps with ratios of 1∶1（A∶B）was lower than the attractiveness of traps baited with single component A.

Key words: *Spodoptera litura*；sex pheromone；wind tunnel；field trapping test

斜纹夜蛾 *Spodoptera litura*（Fabricius）是一种杂食性、暴食性食叶害虫，可危害多种蔬菜、烟草、棉花等经济作物。Tamaki 等（1973，1976）对斜纹夜蛾（日本种群）雌蛾腹末粗提物进行分离、提纯后鉴定出其中的 4 个组份：Z9，E11-14：Ac（A）、Z9，E12-14：Ac（B）、Z9-14：Ac（C）和 E11-14：Ac（D）。中国种群的雌蛾性信息素腺体中均具有这 4 种组份，其比例为 100∶27∶20∶27（A∶B∶C∶D）（孙凡等，2001）。

风洞技术做为一种可靠的手段已广泛地应用于

作者简介：孙凡，女，1971 年 6 月生，黑龙江伊春人，博士，讲师，研究方向为昆虫化学生态，E-mail：sunf779@sohu.com

收稿日期 Received：2001-07-06；接受日期 Accepted：2002-12-13

室内研究飞行昆虫的行为反应（Quero *et al*., 1996）。本研究在风洞中对斜纹夜蛾雄蛾对雌蛾性信息素腺体内各组份及混合物的行为反应进行了生测，并进行了田间诱捕试验。

1　材料与方法

1.1　供试昆虫

在上海市郊松江县的蔬菜大棚中采集斜纹夜蛾幼虫，室内人工饲料饲养。养虫室光周期为 L∶D = 14∶10，饲养温度为 25 ± 1℃，相对湿度约为 80%。化蛹后雌雄分开，羽化后的成虫饲以 10%蔗糖水。

1.2　试剂

A、B 组份的人工合成品由日本 SHIN-ETSU 化学有限公司合成，C、D 组份的人工合成品由中国科学院上海昆虫研究所化学生态实验室合成，经带无分流进样装置的气相色谱仪（HP-5890）检测分析，4 种化合物的纯度均达到 95%以上。稀释化合物的溶剂采用重蒸正己烷。

1.3　风洞装置

风洞外壁由透明的有机玻璃制成，铝合金框架。风洞呈拱门式，长 2.5 m，高和宽各 1.0 m，上半部圆形半径为 0.5 m。风源采用标准型净化工作台做为供风装置，风速为 0.3 m/s。风洞下风端装有排气扇将带有化合物的气流排出室外。实验采用红色灯泡光源，光强度调节在 1.0 ~ 1.5 lx。风洞室温 23 ~ 25℃。相对湿度 60% ~ 70%。

1.4　风洞诱芯

1.4.1　处女雌蛾诱芯：取暗期正在求偶的雌蛾，用细棒将其尾端朝前，翅膀反折装入塑料固定管中，固定管内径与虫体腹部相当，两端开口，前端略细，并有压挤孔，虫体腹面末端正对压挤孔。在压挤孔处塞上橡皮泥挤压雌蛾腹末，令其性信息素腺体暴露在外。

1.4.2　雌蛾腺体粗提物诱芯：取正在求偶的处女雌蛾 10 只，用手术剪将腺体剪下放入微型尖底玻管中，注入 10 μL 重蒸正已烷浸提，1 h 后将全部浸提液注入诱剂载体上。诱剂载体为底边 1 cm，高 1.5 cm 的三角形滤纸片。每个诱芯只使用一次。

1.4.3　人工合成性信息素诱芯：将所需化合物用重蒸正己烷溶剂稀释成所需的浓度，相互混合配制成所需比例，配制好的溶液均经气相色谱仪检测含量及比例。诱芯载体同雌蛾腺体粗提物诱芯。每个诱芯只使用一次。

1.5　雄蛾行为测试

受试雄蛾羽化 2 天，进入暗期 7 ~ 9 h（此时为雌蛾求偶高峰期），每头雄蛾只使用一次。诱芯放置于距上风端 25 cm，高 25 cm 的支架上，诱芯外罩高 28 cm、直径 10 cm 的圆筒形钢丝网罩，钢丝网罩不但可以保护诱芯不受雄蛾的污染，还可以为雄蛾在诱芯附近降落提供场所。在距下风端 25 cm 处置一高 15 cm 的释放支架，受试雄蛾置于其上。任其反应 2 min，如无行为反应则换下，引入另一头雄蛾继续实验；实验中每个处理重复 3 次，每次重复测试 20 头雄蛾。记录下列行为反应的雄蛾数量：搜索气迹（雄蛾起飞后围绕气迹线上下左右来回搜索）；定向飞行（雄蛾沿气迹线逆风锯齿形飞行，距离达到风洞长度的 1/2）；接近诱芯（雄蛾飞至诱芯处后，靠近诱芯外的铁丝网罩上下左右来回搜索或降落在铁丝网罩上）；撒开味刷（雄蛾接近诱芯后，腹部伸长并撒开味刷企图交尾）。实验结果经百分率反正弦转换后进行方差分析。

1.6　滤纸诱芯释放的挥发物组份比例测定

取 500 mL 容量瓶，洗净，在 200℃烘箱中烘 2 h 备用。将 10 μg 待测混合物制成滤纸诱芯，待溶剂挥发后悬挂在上述容量瓶里（操作时注意滤纸不能接触瓶壁），盖上瓶塞，40 min 后拿掉诱芯，用 50 μL 重蒸正己烷洗脱瓶壁，洗下溶液进气相色谱仪分析测定。

1.7　田间诱捕试验

将 A、B 组份用二氯甲烷稀释成所需的浓度，并按所需配制成一定的比例的两组份混合溶液，配好的溶液经气相色谱仪测定含量及比例，然后用微量移液管将含有 100 μg（以 A 的含量为准）的性信息素溶液滴至内径为 0.8 cm 硅橡胶帽中，制成具有缓释效果的硅胶质诱芯。诱芯配方：（1）单一的 A 组份诱芯；（2）两组份 1∶1（A∶B）诱芯；（3）两组份 5∶1（A∶B）诱芯；（4）两组份 9∶1（A∶B）诱芯。用铁丝将性信息素诱芯串制在直径为 18.5 cm 的塑料桶沿上，桶内盛 0.2%的肥皂水，水面离诱芯 1 ~ 2 cm，并注意定期添加肥皂水，以免诱捕器内肥皂水因蒸发而水位下降，影响诱蛾效果。选择斜纹夜蛾发生量较大的 8 月中旬至 9 月初，在浙江省慈溪市浒山镇设一块面积为 10 km^2 的蔬菜实验地，把诱捕器悬挂在实验地内 1 m 高度的竹杆架上，每种诱芯设 5 个重复，不同诱芯的诱捕器间隔放置，每个诱捕器间隔为 20 m。逐日检查每个诱捕器内的诱蛾量，记录后将桶内雄蛾清除。

2 结果与分析

2.1 雄蛾在风洞中对单一组份的行为反应

单一的A组份即能引起雄蛾由搜索气迹、定向飞行、接近诱芯到撒开味刷企图交尾连续的行为反应，而各种剂量（0.001 μg～1 000 μg）的B、C和D组份均不能引起雄蛾上述行为反应。从0.001 μg～10 μg，A组份引起雄蛾搜索气迹、定向飞行及接近诱芯的活性随剂量而增大，但继续增大剂量为100 μg、1 000 μg时，引起雄蛾定向飞行及接近诱芯的活性反而有所下降（图1）。

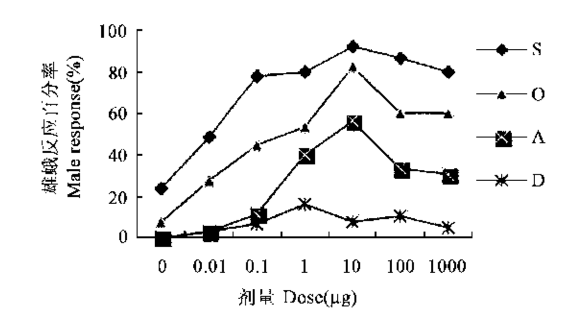


图1 雄蛾在风洞中对不同剂量的Z9,E11-14:Ac的行为反应

Fig.1 Percentage of males with behavioral responses to various doses of Z9,E11-14:Ac in wind tunnel

S：搜索气味 Searching the odor；O：定向飞行 Oriented upwind flight；A：接近诱芯 Approaching the source；D：撒开味刷 Displaying hairpencils。下同 The same below

2.2 雄蛾在风洞中对A组份、处女雌蛾及雌蛾腺体粗提物的行为反应

10 μg的A组份引起雄蛾定向飞行的活性与处女雌蛾相同，但引起雄蛾接近诱芯及撒开味刷的百分率明显低于后者。雌蛾腺体粗提物引起雄蛾定向飞行、接近诱芯及撒开味刷的百分率均明显的低于处女雌蛾及单一的A组份（图2）。

2.3 雄蛾在风洞中对两组份混合物的行为反应

将不同数量的B组份加入1 μg的A组份中构成9种两组份混合物，这些混合物的A与B的比例（B%）分别是1:4（80%）、1:4（80%）、1:2（67%）、1:1（50%）、3:1（25%）、5:1（17%）、7:1（13%）、9:1（10%）及11:1（8%）。结果显示9:1诱芯对雄蛾的活性最高。B组份在诱芯中含量低于25%时，引起雄蛾定向飞行的百分率明显高于单一的A组份，说明一定量的B组份能增强雄蛾对A的定向飞行，但诱芯中B组份超过13%时，引起雄蛾接近诱芯及撒开味刷的百分率低于单一的A组份，即对雄蛾接近诱芯和企图交尾有强烈的抑制作用（图3）。同单一A组份的剂量测试结果相似，1 μg的两组份9:1诱芯引起雄蛾定向飞行、接近诱芯及撒开味刷的百分率最高，增加剂量达10 μg、100 μg引起雄蛾反应的百分率反而下降（图4）。

因为组份A与B的散发速率不同，导致这两组份在滤纸诱芯中的含量比例与从滤纸诱芯释放的挥发物比例明显不同，A与B含量为9.1:1.0的风洞诱芯其挥发物中A与B数量比值为5.2:1.0。

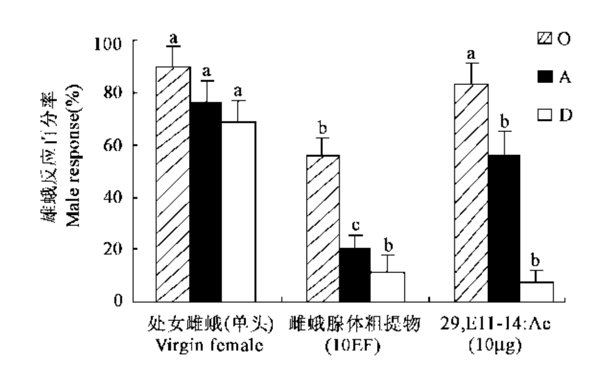


图2 雄蛾在风洞中对处女雌蛾、雌蛾腺体粗提物及Z9,E11-14:Ac的行为反应

Fig.2 Percentage of males with behavioral responses to virgin female, extract of female sex pheromone gland and Z9,E11-14:Ac in wind tunnel

柱形图上方不同字母表示差异显著（*q*检验，α=0.05）。图3、5同此

Bars topped by different letters are significantly different (q test, α=0.05). The same for figure 3, 5

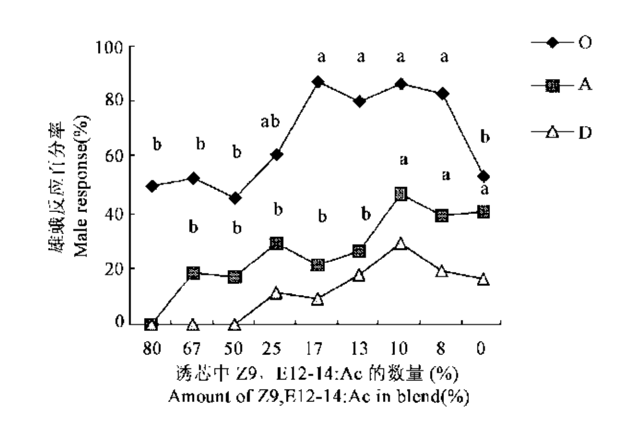


图3 雄蛾在风洞中对Z9,E11-14:Ac和Z9,E12-14:Ac两组份混合物的行为反应

Fig.3 Percentage of males with behavioral responses to binary blend of Z9,E11-14:Ac and Z9,E12-14:Ac in wind tunnel

2.4 雄蛾在风洞中对多组份混合物的行为反应

分别与同时将C、D组份加入A、B（9:1）混

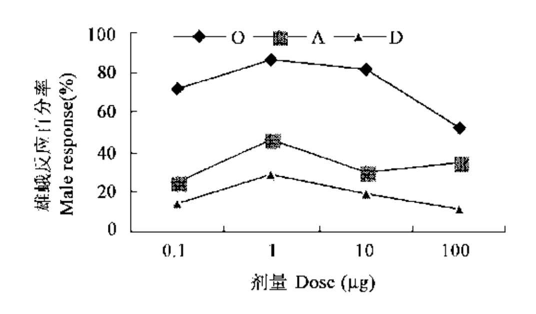


图 4　雄蛾在风洞中对不同剂量的Z9，E11-14Ac和Z9，E12-14Ac 两组份混合物诱芯（9∶1）的行为反应

Fig.4　Percentage of males with behavioral responses to various doses of binary blend 9∶1of Z9，E11-14Ac and Z9，E12-14Ac in wind tunnel

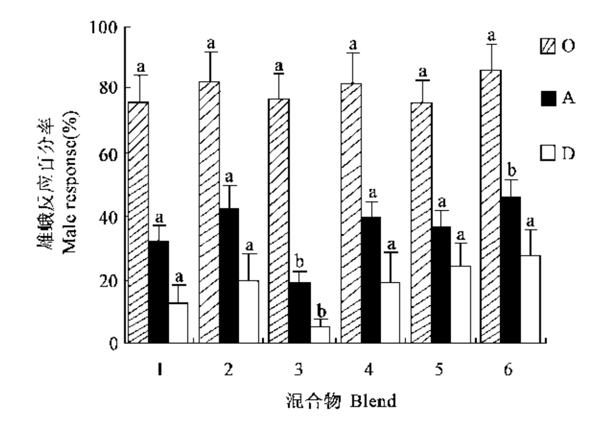


图 5　雄蛾在风洞中对多组份混合物诱芯的行为反应

Fig.5　Percentage of males with behavioral responses to multicomponent blends in wind tunnel

1：A+B+C（9∶1∶1）；2：A+B+D（9∶1∶1）；
3：A+B+C（9∶1∶5）；4：A+B+D（9∶1∶5）；
5：A+B+C+D（9∶1∶1∶1）；6：A+B（9∶1）

合物中对雄蛾的行为反应无影响，只有当混合物中C组份占总量的 50%时，引起雄蛾接近诱芯及撒开味刷的百分率下降（图 5）。

2.5　人工合成性信息素诱芯的田间诱捕效果

田间试验结果与风洞实验相一致，两组份诱芯的诱捕量随两组份比例不同而变化，9∶1（A∶B）诱芯的诱捕量最大，1∶1（A∶B）诱芯的诱捕量低于单一的 A 组份诱芯（表 1）。证明适量的 B 组份对 A 组份的活性有增效作用，但诱芯中 B 组份数量过多，对雄蛾接近诱芯又有一定的抑制作用。

4　讨论

雌蛾腺体内含量最高的 A 组份在风洞中能引起雄蛾从搜索气迹、定向飞行、接近诱芯到撒开味刷企图交尾连续的行为反应，而雌蛾腺体内其它组份单独使用时均不能引起雄蛾上述行为反应。在风洞中对海灰翅夜蛾 *Spodoptera littoralis* 的行为生测也得到过类似结果，雌蛾腺体内含量最高的组份（Z9，E11-14∶Ac）能引起雄蛾连续的行为反应，其效果与处女雌蛾的活性等同（Quero *et al*.，1996）。在本实验中，A 组份引起雄蛾定向飞行的活性与处女雌蛾无差别，但引起雄蛾接近诱芯与企图交尾的活性明显小于处女雌蛾。10EF 腺体粗提物诱芯引起雄蛾定向飞行、接近诱芯与撒开味刷的活性均低于单头处女雌蛾及 A 组份。分析其原因有以下两点：一是在滤纸诱芯中腺体粗提物各组份的释放比例与处女雌蛾不同；二是雌蛾腺体中可能含有某些性信息素的抑制剂。

表 1　不同配方的性信息素诱芯的田间诱捕量

Table 1　The total of males trapped by lures with different ratio of A to B

诱芯配方 Components in lure	累计诱蛾量（头） Total of males trapped
A	27.4±23.7 b
A+B（1∶1）	4.4±4.2 c
A+B（5∶1）	47.4±27.4 b
A+B（9∶1）	133.8±51.3 a

数据后带不同字母表示经方差分析相互间差异显著，q 检验（α=0.05）

Data followed by the different letter are significantly different by q test（α=0.05）

一般来说，雌蛾性信息素诱导雄蛾的行为反应大致分为两类：“长距离”趋化运动，引起这种飞翔行为的化学组分称作性信息素主级成分（primary components），而引起“近距离”行为反应，激起雄蛾降落、振翅、散开味刷等行为的化学组分谓之性信息素次级成分（secondary components），它有助于长距离引诱又起降落和预交尾行为作用。由实验结果可知，A 组份是性信息素的主级成分，起长距离趋化作用，但同时也具有激起雄蛾降落、企图交尾的作用。组份 B 对组份 A 的活性有增效作用，属于次级成分，但在混合物中 B 组份含量过多时，反而对雄蛾接近诱芯与产生预交尾行为有强烈的抑制作用。单一 C、D 组份在风洞中均不能引起雄蛾任何行为反应，对 A、B 两组份的活性亦无增效作用，A、B 混合物中含大量 C 组份时，反而对雄蛾接近诱芯及撒开味刷有抑制作用，这与日本种群的

田间诱捕生测结果相一致（Tamaki *et al*.，1976），由此看来，C、D组份可能是性信息素生物合成中的前体物质。

由于对种群的选择，最接近于雌蛾释放的天然组份比例的性信息素混合物应具有对雄蛾最大的引诱力（Baker and Carde，1984）。但是，关于混合物对雄蛾引诱的资料通常是依据诱芯中混合物含量的比例，这与诱芯释放的挥发物比例可能有偏离。因此了解从诱芯中真正释放的多组份比例是非常重要的。A、B组份在滤纸诱芯中的含量比例与诱芯释放的挥发物比例明显不同，在风洞生测中，9:1（A:B）诱芯是对雄蛾活性最佳诱芯，而A与B含量为9.1:1.0的风洞诱芯其挥发物中A与B数量比值为5.2:1.0。在雌蛾腺体中，A与B的平均比值为3.7:1.0。由此看出，诱芯释放的挥发物比例与雌蛾腺体内组份的天然比例较接近，但二者没有完全吻合，分析其原因应是测定诱芯释放比例的方法造成的误差，因为诱芯在封闭容器内的挥发效果是不同于在风洞及自然状态下的挥发效果。

参 考 文 献（**References**）

Baker T C，Carde R T，1984. Techniques for behavioral bioassays. In: Techniques in pheromone research. Sprenger-Verlag，New York，Berlin，Heidelberg，Tokyo. 45－73.

Quero C，Philippe L，Renou M，Guerrero A，1996. Behavioral responses of Spodoptera littoralis males to sex pheromone components and virgin females in wind tunnel. *J. Chem. Ecol.*，22（6）：1 087－1 102.

Sun F，Hu Y Y，Du J W，2001. The sex pheromone communication system of *Spodoptera litura*（Fabricius），*Acta Entomol. Sin.* 45（3）：404－407［孙凡，胡隐月，杜家纬，2001. 斜纹夜蛾性信息素通讯系统. 昆虫学报，45（3）：404－407］

Tamaki Y，Noguchi H，Yushima T，1973. Sex pheromone of *Spodoptera litura*（F.）（Lepidoptera: Noctuidae）：isolation，identification and synthesis. *Appl. Ent. Zool.*，8：200－203.

Tamaki Y，Osawa T，Yushima T，Noguchi H，1976. Sex pheromone and related compounds secreted by the virgin female of *Spodoptera litura*（F.）. *Jap. J. Appl. Ent. Zool.*，20：81－86.